

Jämförelse av miljöbelastning för plastprodukter utförda i konventionella plaster, bioplaster och träbaserade kompositmaterial.

Patrick Johanson

Förnamn Efternamn

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Maskin- och produktionsteknik
Identifikationsnummer:	2884
Författare:	Patrick Michael Johanson
Arbetets namn:	Jämförelse av miljöbelastning för plastprodukter utförda i konventionella plaster, bioplaster och träbaserade kompositmaterial.
Handledare (Arcada):	Mariann Holmberg
Uppdragsgivare:	Akvila Oy
<p>Detta examensarbete, som är utfört på uppdrag av Akvila Oy, kartlägger och jämför miljöbelastningen för tre plastmaterial, polypropen, polylaktid och polystyren. Jämförelsen utförs med hjälp av LCA-metoden (Life Cycle Analysis), i vilken man systematiskt undersöker och beskriver de olika skeden som ingår i tillverkningsprocessen för respektive plastmaterial. Man utgår från utvinning av råmaterialen, och går vidare till framställningen av materialet, sedan till tillverkningen av den egentliga produkten. För varje skede i processen beräknas energiåtgången och emissionerna i luft, vatten och dessutom noteras växthusgaserna separat. Efter att resultaten erhållits, jämförs de sinsemellan. Värdena baserar sig på en tidigare gjord och publicerad undersökning. Uppdragsgivaren var intresserad av att få information gällande skillnaden i miljöbelastning för material, avsett för tillverkning (granulat), framställda på konventionellt sätt utgående från oljebaserade föreningar, respektive material framställda på majsbaserade utgångsämnen. För en komplett LCA-analys skall också skrotning av produkten inkluderas, eftersom uppdragsgivaren var intresserad av att få resultaten endast för material i form av granulat, lämnades skrotningen bort. Studien påvisade klart att polylaktid kräver mer energi och orsakar större emissioner per viktenhet vid framställning av granulat jämfört med lika stor massa av de övriga. Som slutsats kan konstateras att polylaktid inte är så miljövänligt som människor i allmänhet antar.</p>	
Nyckelord:	Akvila, PLA, HI-PS, PP, LCA, Athena Institute
Sidantal:	46
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	20.12.2010

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Mechanical and Production engineering
Identification number:	2884
Author:	Patrick Michael Johanson
Title:	Jämförelse av miljöbelastning för plastprodukter utförda i konventionella plaster, bioplaster och träbaserade kompositmaterial.
Supervisor (Arcada):	Mariann Holmberg
Commissioned by:	Akvila Oy
<p>This thesis, which is performed on behalf of Akvila Oy, maps and compares the environmental impacts of three plastic materials, polypropylene, polystyrene and polylactide. The comparison is performed using the LCA method (Life Cycle Analysis), which systematically examines and describes the various stages in the manufacturing of the plastics materials. It is based on the extraction of raw materials, and moving on to production of the material itself (granules), and then to the production of the actual product. For each step of the process, the energy consumption and emissions to air and water are obtained. Also the greenhouse gases are noted separately. After the results are obtained, they are compared among themselves. The values are based on a previously made and published study. Akvila was interested in receiving the information regarding the difference in the environmental impact of the materials, intended for manufacture (granules), made out of oil-based compounds, and corn-based materials. For a complete LCA analysis is also included scrapping of the product, but because Akvila was interested in seeing the results only for materials in the form of granules, the results for scrapping were left out. The conclusion was clearly that polylactide requires more energy and generates more emissions per unit of weight in the production of granules compared to the equivalent mass of the other two materials. As a conclusion can be stated that polylactide is not as environmentally friendly as people generally would think.</p>	
Keywords:	Akvila, PLA, HI-PS, PP, LCA, Athena Institute
Number of pages:	46
Language:	Swedish
Date of acceptance:	20.12.2010

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikka
Tunnistenumero:	2884
Tekijä:	Patrick Michael Johanson
Työn nimi:	Jämförelse av miljöbelastning för plastprodukter utförda i konventionella plaster, bioplaster och träbaserade kompositmaterial.
Työn ohjaaja (Arcada):	Mariann Holmberg
Toimeksiantaja:	Akvila Oy
<p>Tämä opinnäytetyö, jonka toimeksiantajana toimi Akvila Oy, kartoittaa ja vertailee kolmen eri muovimateriaalin luonnonrasitusta (polypropeenin, polylaktidin ja polystyreenin). Vertailu tehdään LCA-metodin (Life Cycle Analysis) avulla, jossa systemaattisesti kartoitetaan valmistuksen eri vaiheet jokaiselle materiaalille. Aluksi lähdetään raaka-aineen saannista, jatketaan sen jälkeen raaka-aineen jalostukseen ja lopulta päädytään tuotteen valmistukseen. Jokaisen valmistusprosessin energiankulutus lasketaan kuin myös päästöt ilmaan ja veteen. Myös kasvihuonepäästöt huomioidaan. Tämän jälkeen saatuja tuloksia vertaillaan keskenään. Tulokset perustuvat aiemmin tehtyyn ja julkaistun tutkimukseen. Toimeksiantaja oli kiinnostunut tuotteiden valmistuksessa aiheutuneiden päästöjen ja energiankulutuksen eroavaisuuksista, verraten maissi- ja öljypohjaisia muoveja. Täydelliseen LCA-analyysiin kuuluu myös tuotteen poisheiton sisällyttäminen. Toimeksiantaja oli kiinnostunut vain granulaattien valmistuksessa aiheutuneista päästöistä ja energiankulutuksesta, tämän takia tuotteen poisheittoa ei sisällytetty. Tutkimus osoitti selkeästi, että polylaktidi tarvitsee granulaattien valmistuksessa enemmän energiaa ja aiheuttaa enemmän päästöjä painoyksikköä kohden kun vertaa toisia materiaaleja samassa massassa.</p>	
Avainsanat:	Akvila, PLA, HI-PS, PP, LCA, Athena Institute
Sivumäärä:	46
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	20.12.2010

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	10
1.1	Målsättningen	10
1.2	Hypoteser	10
1.3	Akvila	11
1.4	Arbetets struktur	11
1.5	Begränsningar i detta examensarbete	11
2	LCA - EN MILJÖVÄNLIG IDEOLOGI.....	12
2.1	Teknologiska processer	14
2.2	Definition av målsättningen	16
2.3	Livsspann för industriella produkter.....	17
2.4	Principen för LCA	19
2.5	Ackvisition av data.....	22
3	MATERIALEN	22
3.1	Polystyren, PS	22
3.1.1	<i>Framställning av polystyren.....</i>	<i>24</i>
3.2	Polypropen, PP.....	26
3.2.1	<i>Framställning av polypropen</i>	<i>29</i>
3.3	Polylaktid, PLA	31
3.3.1	<i>Framställning av polylaktid</i>	<i>32</i>
3.4	Formsprutning	34
3.5	Extrudering	35
3.6	Fyllnadsmaterial	35
3.7	Biologisk nedbrytning	36
4	SAMMANSTÄLLNING AV ENERGIÅTGÅNG OCH EMISSIONER.....	37
4.1	Energiåtgång	38
4.2	Emissioner	39
4.2.1	<i>Emissioner i atmosfären.....</i>	<i>39</i>
4.2.2	<i>Emissioner i vatten</i>	<i>40</i>
4.2.3	<i>Växthusgaser.....</i>	<i>42</i>
5	RESULTAT	42
6	SLUTSATSER.....	44
7	DISKUSSION	44

Figurer

Figur 1 Ett koncept för interaktioner mellan samhället och konsumenten (sid.3, Streamlined Life-Cycle assessment)	16
Figur 2. De fem LCA-steg för framställning av en konsumentprodukt (sid. 19, Streamlined Life-Cycle assessment)	18
Figur 3. Stegen för en LCA av en teknologisk aktivitet (sid. 22, Streamlined Life-Cycle assessment)	20
Figur 4. Innehållet av en komplett LCA (sid. 23, Streamlined Life-Cycle assessment)	21
Figur 5. Allmänna formeln för polymeriseringen av polystyren. (sid. 160, Polymeeriteknologian perusteet)	23
Figur 6. Framställning av HI-PS. (sid. 174, Neste – öljystä muoveihin)	26
Figur 7. Allmänna formeln för polymerisering av polypropen. (sid. 145, Polymeeriteknologian perusteet)	27
Figur 8. Framställning av polypropen. (sid. 155 Neste – öljystä muoveihin)	31
Figur 9. Framställningsskeden för PLA. (sid. 405, www.natureworksllc.com)	33
Figur 10. Huvuddelarna i en formspruta. (sid. 73, Muovitekniikan perusteet)	34
Figur 11. Huvuddelarna av en extruder. (sid. 99, Muovitekniikan perusteet)	35

Tabeller

Tabell 1. Behov och önskemål för transporter mellan lokala, nationella och internationella destinationer. (sid.2, Streamlined Life-Cycle assessment)	15
Tabell 2. Egenskaper för polystyren (Sid. 162, Polymeeriteknologian perusteet)	24
Tabell 3. Polypropenens egenskaper (sid. 147, Polymeeriteknologian perusteet)	29
Tabell 4. Mängd respektive [kg] material för 10. 000 muggar. (sid. 1-4, 2-1, Athena Institute)	37
Tabell 5. Energiåtgång (MJ) för 10.000 drickmuggar. (sid. 2-5, Athena Institute)	38

Tabell 6. Värdena för energiåtgång spjälkta per bränsletyp (MJ). (sid. 2-7, Athena Institute).....	38
Tabell 7. Konverterade värden för 1 kg material. (MJ).....	39
Tabell 8. Utsläppen i atmosfären [gram] / 10. 000 koppar. (sid. 2-10 ,2-11, Athena Institute).....	39
Tabell 9. Konverterade värden för 1 kg material.....	40
Tabell 10. Utsläppen i vatten [gram] / 10. 000 koppar. (sid. 2-14, 2-15, Athena Institute).....	41
Tabell 11. Konverterade värden för 1 kg material.....	41
Tabell 12. Växthusutsläppen för [gram] / 10.000 koppar. (sid. 2-5, Athena Institute) .	42
Tabell 13. Konverterade värden för 1 kg material.....	42

FÖRORD

Jag har gjort detta examensarbete i samarbete med Peter Von Koskull från Akvila och med min handledare Mariann Holmberg från Arcada. Skrivprocessen har varit givande, tidskrävande och lärofull. Jag är glad att jag varit till hjälp för Akvila. Resultaten var i enlighet med det vi hade förväntat oss från början.

Jag vill tacka Peter Von Koskull, Mariann Holmberg och mina föräldrar för den hjälp de har gett mig under skrivprocessen.

Helsingfors, December 2010

Patrick Johanson

1 INTRODUKTION

Examensarbetet handlar om en jämförelse av emissioner eller utsläpp som uppstår under produktion och energiåtgång för plastprodukter utförda i polystyren (PS), polylaktid (PLA) och polypropen (PP).

Man beaktar vanligtvis en produkts miljöbelastning utgående från dess slutdel av dess livscykel, alltså när och efter att konsumenten har köpt produkten, och hur och på vilket sätt den försvinner från dess livscykel och sönderfaller. Konsumtion eller skrotande av produkterna beaktas inte i detta examensarbete. Detta resonemang ger inte nödvändigtvis en realistisk bild av utsläppen som engångsprodukter förorsakar. Det finns många aspekter och skeden gällande en produkts livscykel som bör undersökas för att få en bättre helhetsbild av utsläppen som kommer ut i miljön.

Med LCA (Life Cycle Assessment) analysmetoden definierar man för varje material en livscykel, som börjar med utvinning av råvaror, framställning av råmaterial och efter det formsprutning av smält granulat till färdig produkt i formen.

1.1 Målsättningen

I arbetet jämförs utsläppen vid framställning av tre olika material.

I arbetet undersöks också, om av rent naturliga material framställda kompositer orsakar mer skador och utsläpp i naturen än de vanliga oljebaserade plasterna. Detta skulle delvis upphäva påståendet, att dessa artiklar ha lägre miljöbelastning.

Mätresultaten är bara riktgivande, med andra ord är det svårt eller omöjligt att få definitiva svar.

1.2 Hypoteser

- Orsakar framställning av PLA större emissioner och är energiåtgången större än vid framställning av PP?
- I vilka kategorier indelas emissionerna i, och hur definierar man kategorierna?
- Är PLA naturvänligare än PP?

1.3 Akvila

Akvila aktiebolaget grundades år 1920. Bolagets verksamhet började med framställning av olika bläck och lim. Produktion av plastprodukter började år 1943 när en bakelitpress för framställning av lock till bläckflaskor skaffades. Framställningen av engångsbestick började i slutet av 1960-talet och Akvila är en av de ledande producenterna i Skandinavien. Akvilas huvudprodukter idag är engångsbestick och plastmuggar.

Akvila framställer engångsbestick av PS och PP.

För en engångsprodukt ställs inte så stora mekaniska krav, och detta leder till att material av lägre kvalitet och pris kan användas i sprutformen som fyllnadsmaterial. Ur företagets synpunkt är detta bra, för att materialbehoven för plast blir mindre och kostnaderna sjunker. (www.akvila.fi)

1.4 Arbetets struktur

Detta arbete är uppdelat i tre delar: teoridel, undersökningsdel och analysdel.

I teoridelen undersöks analysmetoden för LCA, tre materials egenskaper och framställning via polymerisering och formsprutning.

I undersökningsdelen jämförs utsläppen från framställning av dessa tre material.

I analysdelen ingår analys av resultat från jämförelsen av energiåtgången och emissionerna för varje respektive material, vidare besvaras tidigare hypoteser och i diskussion tas fram möjliga nya idéer som uppkommer.

Arbetet är en teoretisk undersökning baserad på litteraturen, man har strävat efter att hålla informationen har försökts hålla rätt kompakt, lätt läst och informativ.

1.5 Begränsningar i detta examensarbete

I början av skrivprocessen var avsikten att beräkna energiåtgången för plastskedar tillverkade i polypropen i vilket man blandat sågspån från skogsindustrin. Det visade sig att det inte fanns exakta värden att tillgå. I detta läge beslöt man att basera undersök-

ningen på värden publicerade av Athena Institute om vanligt PP. Undersökningen som Athena Institute gjort omfattade PP, PLA, HI-PS (High-Impact polystyren) och PET, som alla var tillverkade av samma tillverkare. PLA togs inte med i denna undersökning. Alla tre material var gjorda hos samma framställare, NatureWorks, detta ger ett bättre utgångsläge för jämförelse när parametrarna är lika varandra.

Undersökningen gjordes enligt ISO 14040 och 14044 standard. Enligt dessa standarder är en delvis undersökt LCA inte en fullkomlig analys, men pga. undersökningarnas diversitet och målsättningar är detta acceptabelt inom ramarna gällande detta arbete. (sid. 84, obiki.org) Till en fullkomlig LCA analys skulle ha ingått också beaktande av utsläppen vid transport och skrotning av produkterna.

Alla produkter framställs via formsprutning. Användningen av olika material förorsakar olika parametrar i maskinerna. Helhetsbilden är i detta skedet är relativt lika för alla material. Därför lämnas analysdelen för utsläppen av formsprutningen bort, för att få arbetet mera kompakt.

Undersökningen var originell en såkallad ”cradle-to-grave”-undersökning, men pga. att Akvila ville att värdena skulle gälla bara de färdiga materialen, begränsades arbetet till ”cradle-to-material”.

2 LCA - EN MILJÖVÄNLIG IDEOLOGI

Många faktorer, såsom krav från statsmakt, bra medborgarskap, och speciellt kundernas krav, uppmuntrar industriella företag att ta steg emot allt mer miljövänliga processer. Tidigare framsteg har varit närmast businessorienterade, enklare sagt har miljövänligheten setts som en nödvändig PR-kostnad för affärernas framgång. Den uppkommande moderna synen på miljövänligheten är mycket mera utredd än tidigare i historien. Dess vision är att inte se tillbaka på det forna, utan på det som kommer och har som mål design, framställning av produkter, styrning av processer och faciliteter, så att deras miljöfaktorer kommer fram och skadorna minimeras. Sådana handlingar ses nuförtiden som vanlig businesspraktik i en konkurrensutsatt värld som känner ansvar för sina kunder och planeten vi lever på.

Dessa är anslående och kanske lite suddiga tankar, och suddigheten kan påpekas lätt, när en konstruktör försöker bestämma om produkten, processen eller systemet är ”grönt”. Vad gör en viss design miljövänligare än en annan? Hur vet vi att det som vi strävar efter är rätt? Svaret till i alla fall några av dessa frågor kan hittas via en teknik kallad LCA som kan tillämpas i en förenklad version. LCA grundar sig på samhällets stora miljöomsorg.

Första steget i LCA, är att bestämma målen och bestämma bredden av undersökningen. När alla designalternativ har tagits i beaktande, måste de jämföras och prioriteras. Prioriteringen beror starkt på bestämda materials påverkningsgrad i vårt ekosystem.

I effektanalysen studeras industrins och samhällets miljöpåverkan. Definitionen av dessa interaktioner är svår, komplex och extremt värdeorienterad.

LCA processen visar i sin fulla implementation vara en billig metod i fråga om resurser och tid. LCA ger resultat som är ofta öppna för tolkningar och kan inte användas som ”rutinverktyg” dvs. alla resultat är inte nödvändigtvis jämförbara. Hur som helst, nyttan av LCA-analyser är allmänt använda. Som en konsekvens, har företagen kommit fram med olika metoder för att förenkla LCA-processen. LCA-metoder är öppna verktyg som leder till ett bredare samarbete mellan samhälle och miljö. (sid. ix-x, Streamlined Life-Cycle assessment)

Modern livsstil och allt som termen innehåller, speglar lite likhet till den enkla livsstil som våra förfäder levt med. I stället lever och verkar vi i den teknologiska världen. Från alla fabriker kommer det ut produkter, som varierar i storlek från 500 passagerares flygplan till datorchips som är stora som naglar, vilkas livstid varierar från årtionden (byggnadsmaterial) till en användninggång (som läkemedelsprodukter), vilkas materialkonstruktion kan vara av vanliga mineraler eller komplexa molekyllära kompositer.

I denna miljö, har mänskligheten börjat erkänna bördan som den moderna livsstilen och aktiviteten och antalet människor orsakar planeten, och frågar sig hur man kan påverka genom sina egna aktiviteter. Vilka beslut är viktiga? Varför? Hur kan de förändras från koncept till redskap. Frågor som dessa kan bli besvarade bara genom strukturerad analytiskt närmande mot allt som vi gör i ett teknologiskt samhälle: hur vi planerar våra produkter, hur vi framställer dem, hur vi använder dem, och hur vi gör oss av med dem. Produkterna är inte en summa av våra teknologiska aktiviteter.

Vi måste också undersöka produktionsmetoder, hur vi använder våra faciliteter, sätten vi förser och får service av olika slag, summerat, sättet vi planerar vårt hela mänskliga samhälle. Som ett samhälle, har denna typ av tankegång potential att öppna nya dörrar, men i vardagsbrådskan har man inte gett mycket uppmärksamhet för tankesättet. Ändå, skall man ta ståndpunkt till problemen, för att i framtiden kan det framkomma problem som kunde ha undvikits med mera djupgående tänkande och planering.

Via LCA kan företag och beslutsfattare förenkla och förbättra bördan som vårt moderna livsstil orsakar vår miljö. Det finns inget enkelt eller rätt sätt att värdera miljörelaterade attribut av produkter, processer, faciliteter, och service. Ännu tillsatt, teknikerna som används nuförtiden är blandade i en snabb och kaotisk utveckling. Ändå har steg tagits framåt med de redskap som finns till förfogan. På ett eller annat sätt, befordrar dessa verktyg en djupgående undersökning av aktiviteten som studeras, sedan identifieras möjliga modifieringar, och till slut genomgås alternativens negativa aspekter. Om verktygen används samvetsenligt, kan problemorsakande faktorer som förorsakar problem för samhället och miljön lindras. Man kan med säkerhet säga att miljöorienterade handlingar kommer att bli en norm för samhällets teser under det 21 århundradet. (sid. 1, Streamlined Life-Cycle assessment)

2.1 Teknologiska processer

Industriella system styrs inom samhället och dess ekonomiska strukturer, hellre än att de skulle vara avses från det. Denna relation leder till en nytta, såsom lansering av nya produkter och expansion av marknadsandelar, men förorsakar också negativa aspekter såsom miljöproblem. Som en följd, är industriella system reglerade av regeringspolitik och lagar, och större sett, också av sociala hinder och av ekonomiska och teknologiska omständigheter.

All industriell aktivitet är ett svar på samhällets behov och krav. Termerna ”behov och krav” har olika betydelser i olika sammanhang, men från industrins perspektiv bildar båda behov för produkter. På lokal nivå, behov av regeringsledda byggnadsprogram såsom järnvägar och motorvägar ger upphov till producenter att komma till färdiga mark-

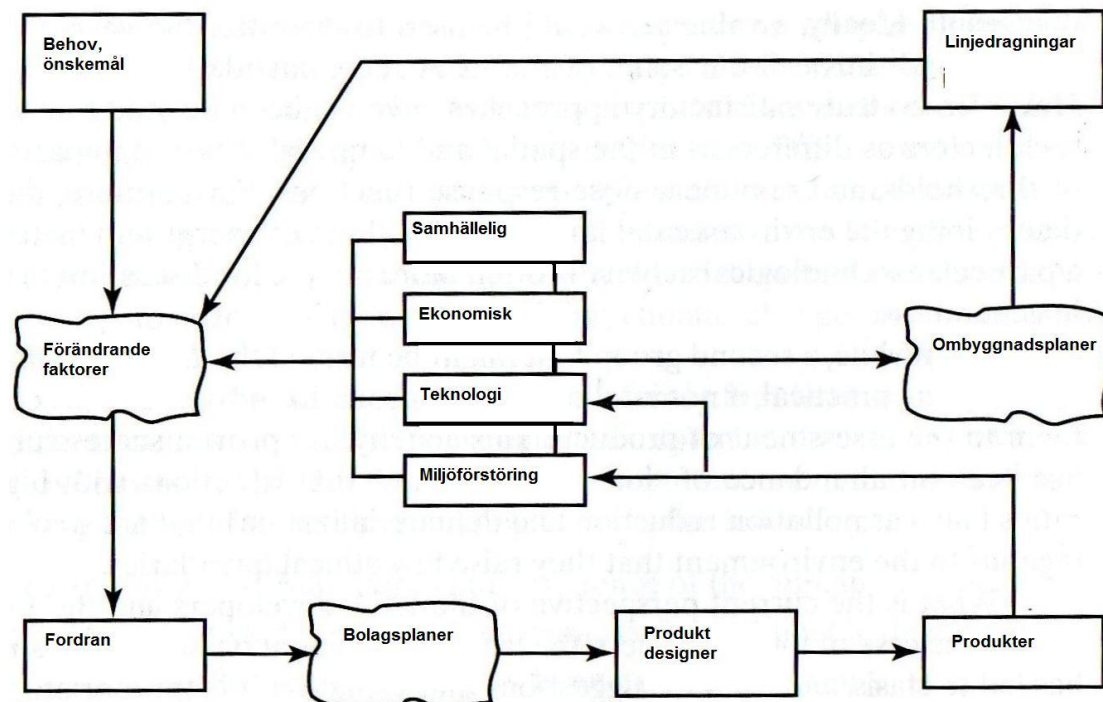
nader. Individuella konsumenter använder dessa faciliteter inte bara för att pendla mellan arbetet och hemmet, utan också för personliga behov såsom butiksbesök. I många situationer är det likgiltigt för konsumenter hur transporten är ordnad. Om offentliga transporter är tillräckligt lätt och kostnadseffektiv, används den. Om annat, använder konsumenterna sina privata fordon även om det är dyrt och komplicerat.

När avstånden blir större, tar planeringen mera tid, förflyttandet av varor och service är i centralt fokus, och individuell transport blir mindre och mindre viktigt. Transportering, som en del av säkerhet och konkurrensförmåga är av intresse på nationell nivå. I ett nötskal kan man säga att de många faserna som industrisamhälle relationen bildar, summerar krafterna för samhällets behov och krav.

När behoven och kraven är identifierade, är frågan hur skall industrin fylla och besvara dessa krav inom samhället? Ett koncept för liknande interaktioner kan studeras i Tabell 1. Informationsflödet i figuren börjar med behoven och kraven i den övre vänstra kanten av diagrammet. Dessa drivande krafter ändras beroende av olika sociala faktorer, ekonomiska begränsningar, bekymmer angående gifter och miljöpåverkan, och det teknologiska läget. Resultatet är efterfrågan för specifika varor och service. Industriella företag besvarar sedan dessa varor och service via sina egna medier, ideologier och teknologier.

Tabell 1. Behov och önskemål för transporter mellan lokala, nationella och internationella destinationer. (sid.2, Streamlined Life-Cycle assessment)

Valkrets	Område		
	Lokal	Nationell	Internationell
Statsmakt	Regional utveckling	Nationell säkerhet	Konkurrenskraftig inom handeln
Grundproducent	Dedicated systems	Dedicated systems	Market diversity, stability of demand
Sekundär producent	Arbetskraft	Produktutdelning, marknadstillgång	Export, marknadsnärvaro
Konsument	Transport, handel	Fritid, handel	Semester, handel



Figur 1 Ett koncept för interaktioner mellan samhället och konsumenten (sid.3, Streamlined Life-Cycle assessment)

Interaktionerna visade i Figur 1 demonstrerar rollen av varje individuellt beslut som stimulerar sedan aktiviteterna i företaget, och påpekar detta faktum att det teknologiska samhället som vi lever i, inte bara är en samling av namnlösa och distanta företag som vi aldrig ser, utan mer en samling av våra allas beslut. (sid. 2-3, Streamlined Life-Cycle assessment)

2.2 Definition av målsättningen

Industriella design- och utvecklingsaktiviteter är mer och mer styrda av LCAs riktlinjer vilka är

- (1) bestämning av involverade flöden av energi och material,
- (2) evalueringar av miljörelaterade inverkan och effekt summerat till en produkt eller process från dess början till slut,
- (3) rekommendationer konstruerade att förbättra de miljörelaterade attributen.

Den enkla iden att integrera LCA till en del av den teknologiska utvecklingsprocessen har stor nytta för att den ger vissa ramar till vilka analyser som helst. Fastän LCA-

konceptet är uppfattat och accepterat, nyttoanvändningen av den har ofta visat sig svår eller minst opraktisk, mest pga. problem relaterade till behov av data, tid, finansiering och osäkerhet gällande mätresultat. Denna situation har orsakat utvecklingen av streamlined LCA (SLCA), vilken försöker att behålla de vanliga LCA koncepten men tolkningen av resultaten är effektivare och enklare.

Försök att få till stånd praktiska och tillförlitliga LCA:n och SLCA:n har varit aktuella under många år. Det slutliga målet för dessa är att producera rekommendationer till beslutsfattarna (produktdesigners, tillverkare, politiker osv.) som har som mål att minska miljörelaterade attribut av teknologiska aktiviteter över deras hela livsspann. För att kunna skapa en stabil länk mellan vetenskapen och teknologimiljön, är det viktigt att komma fram med intellektuellt grundarbete där rekommendationerna till LCA:n och SLCA:n kan rättas till.

Generellt sagt, är det klart att riktgivande råd för bestämmelser som inte genast är självklara, måste basera sig på någon annan etisk bedömning. Etiska beslut i ett pluralistiskt samhälle, speciellt i ett globalt, är långt ifrån likadana. Trots detta, har det framkommit överenskommelse om en sammansmältande vision för interaktioner mellan människor och miljön: gällande hållbar utveckling.

Trots att man har olika prioriteringar gällande bekymmer om omgivningen, man kan nämna fyra målsättningar som har och göra med livet på Jorden, dess upprätthållande och dess njutning. Dessa målsättningar beskrivs som följande:

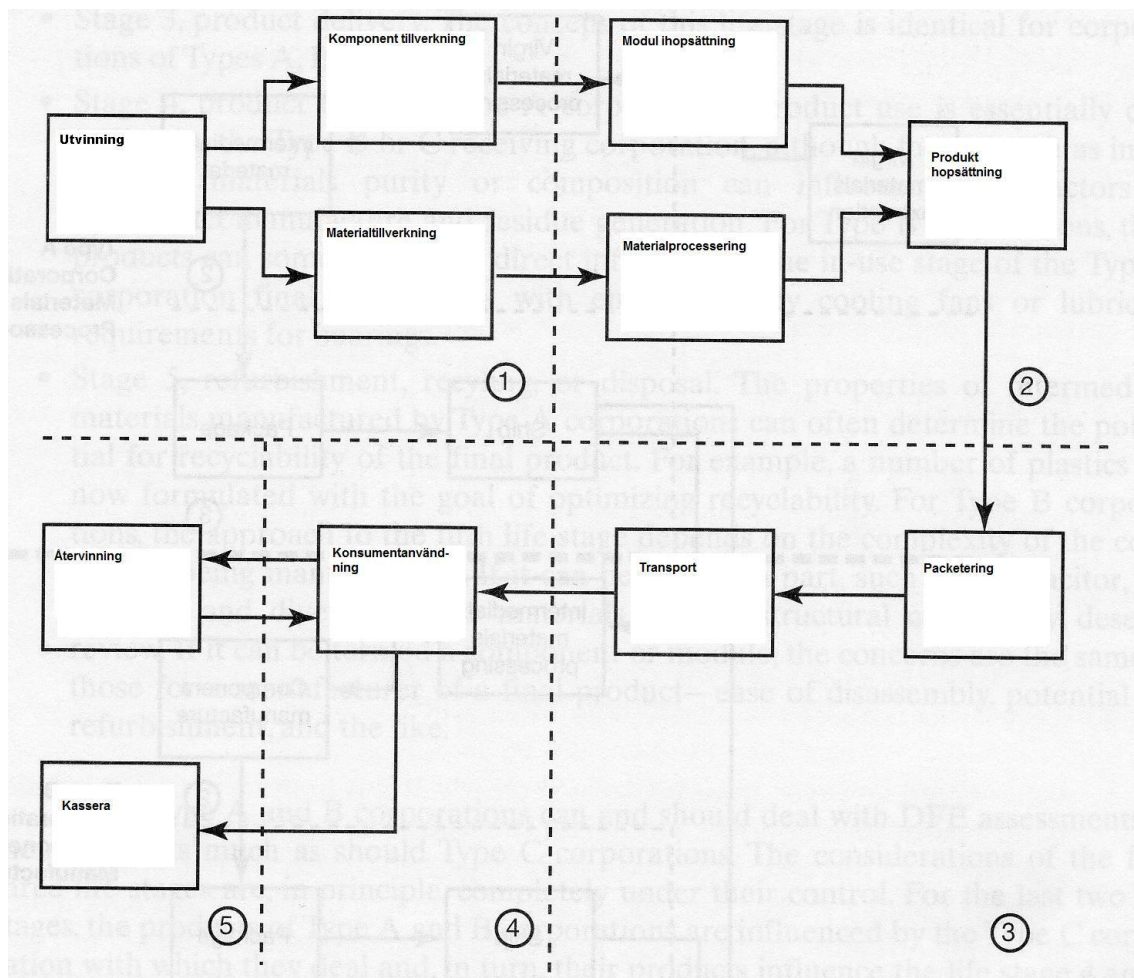
- Upprätthålla den mänskliga rasens existens
- Upprätthålla kapacitet för hållbar utveckling
- Upprätthålla diversitet bland de levande
- Upprätthålla Jordens estetiska rikedom

(sid. 5, Streamlined Life-Cycle assessment)

2.3 Livsspann för industriella produkter

LCA är en objektivprocess att utvärdera miljöbelastning relaterat till en produkt eller aktivitet genom att identifiera och beräkna mängden av energi- och materialbehov och emissioner i naturen. För att uppskatta den energi och det använda materialet samt ut-

släppen, och att evaluera och förverkliga möjligheterna att påverka miljöförbättringar, kan LCA-metoden användas. Evalueringen innehåller hela livsspann för en produkt, process eller aktivitet, som omfattar att utvinna fram och bearbeta råmaterial; tillverkning, transport och utdelning; användning/ återanvändning/ upprätthållande; återvinning; och slutligen skrotning.



Figur 2. De fem LCA-steg för framställning av en konsumentprodukt (sid. 19, Streamlined Life-Cycle assessment)

I en analys av en komplex framställd produkt skall innehålla i bilden visade fem steg, vilka är:

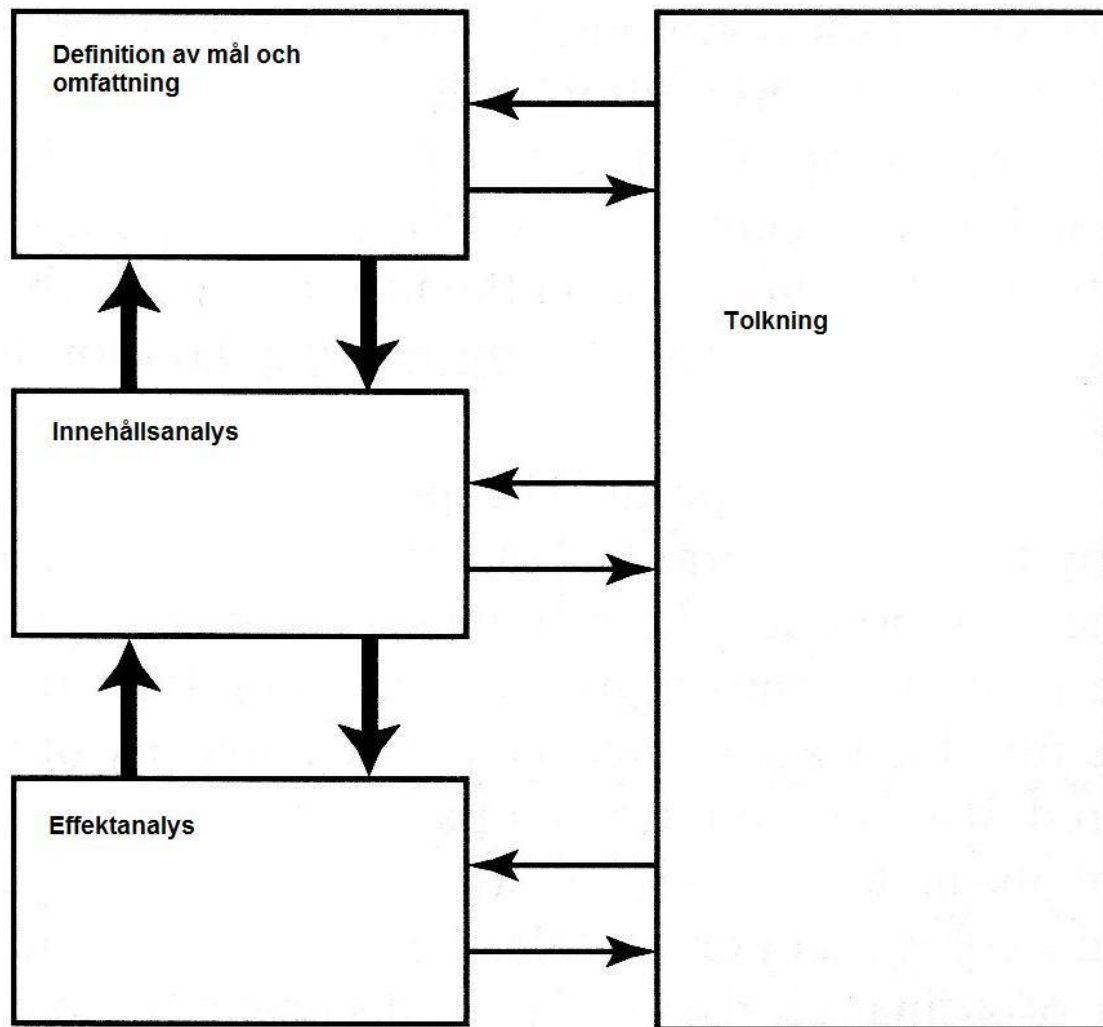
- 1) Steg 1, utvinning av råmaterial och tillverkning av basmaterial
- 2) Steg 2, framställning
- 3) Steg 3, leverans av produkten
- 4) Steg 4, konsumentanvändning
- 5) Steg 5, bortkastning av produkten

(s.18, Streamlined Life-Cycle assessment)

Arbetet fokuserar på steg 1 och 2.

2.4 Principen för LCA

En LCA-analys är ett stort och komplext försök, och innehåller många variationer. Ändå finns det en generell överenskommelse om den formella strukturen över en LCA-analys, som innehåller tre steg: definition av mål och omfattning, innehållsanalys och effektanalys. Först målet och omfattningen av LCA:n är definierad. En innehållsanalys och en effektanalys är sedan gjord. Insikten av analysernas resultat hjälper att bilda potentiella förbättringar, som kan påverka den undersökta processen, så att de kan upprepas. Till slut framvisas en "guide för naturen" till den undersökta processen.



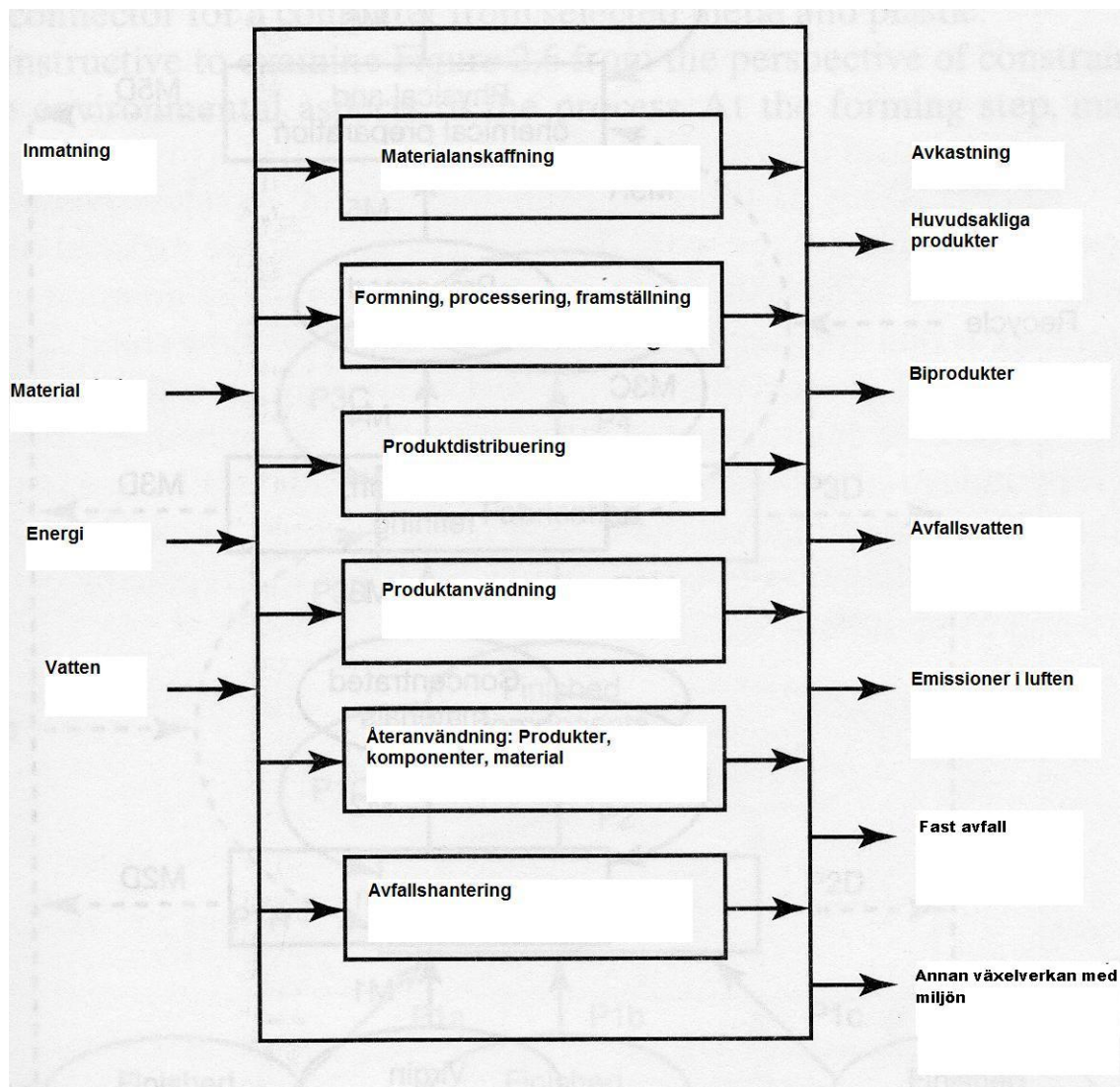
Figur 3. Stegen för en LCA av en teknologisk aktivitet (sid. 22, Streamlined Life-Cycle assessment)

Ett av de viktigaste stegen i början av en LCA-analys är definition av mål och omfattning så noga som möjligt, vilka material, processer eller produkter som skall undersökas, vilken är karaktären och vilka är begränsningarna av studien och hur brett har alternativen blivit definierade. (sid. 22, Streamlined Life-Cycle assessment)

Det andra skedet i LCA, innehållsanalysen, är det mest utvecklade och genomförda. I det används kvantitativa data för att påvisa nivåer och energityper och materialinlägg i ett industriellt system och emissioner som framställning av en produkt orsakar, det är visat schematiskt i Figur 4. I den bakom skedet baserar sig på en grupp av "materialbudgeter", i vilka analytikern mäter inmatning och utsläpp av energi och resurser samt av energi bundna till framkomna produkter och biprodukter. Uppskattningen är gjord idealt

över hela livsspannet – utvinning av råmaterial, framställningen, distribution, användning och skrotning.

Det tredje skedet i LCA är effektanalys, som innehåller relatering av systemets utsläppnas effekt till omgivningen.



Figur 4. Innehållet av en komplett LCA (sid. 23, Streamlined Life-Cycle assessment)

Tolkningen av resultaten från fynden av ett eller flera av stegen används för att dra slutsatser eller rekommendationer. Slutsatserna uttrycker om det är behov för att minska systemets miljöbelastning. (sid. 23-24, Streamlined Life-Cycle assessment)

2.5 Ackvisition av data

Efter att storleken av LCA-analysen har gjorts via definition av begränsningar och mål, avancerar analytikern med ackvisition av nödvändiga data. Processen är påbörjad med att bygga upp, i samarbete med design och framställningsteam, ett flödesdiagram. I den med det är att utlista, minst kvalitativt men helst kvantitativt, alla insättningar och avkastningar av material och energier genom alla livssteg.

Vissa delar av den information som behövs för att göra innehållsanalysen är ganska enkla, såsom t.ex. mängden av ett visst material som behövs för en viss design eller mängden kylvatten som en viss framställningsprocess kräver. Kvantitativ data har sin nytta: de är universellt mycket använda i högteknologiska kulturer, de ger bland annat bra botten för manipulering och beställning av data och de underlättar viktiga val.

I några fall är inte data möjligt att få i traditionell kvantitativ stil, men den kan ändå visa sig vara nyttig. Kvalitativa data kan ändå vara lika nyttiga som kvantitativa, trots att ingenjörerna och affärsplanerare ofta är subjektiva och emot kvalitativa undersökningar.

LCA-datan borde vara relevant, men också så pålitlig som möjlig. (sid. 35-36, Streamlined Life-Cycle assessment)

3 MATERIALEN

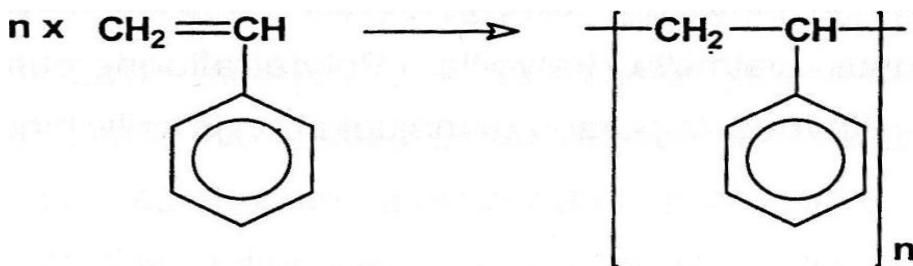
Nedan behandlas tre material som ingår i undersökningen: slagfast polystyren, polypropen och polylaktid. En engångssked tillverkas av varje material. Formsprutnings- och extruderingsprocesserna genomgås även.

3.1 Polystyren, PS

Styren är en färglös substans som har en kokpunkt på 145°C. Den polymeriseras lätt med hjälp av en friradikal-indikator, som t.ex. benzylperoxid till fast polystyren. Det tekniska utförandet kan göras genom massa-, lösnings-, emulsions- eller suspensionsmetod. (sid. 160, Polymeeriteknologian perusteet)

Suspensionspolymerisation

Polymeriseringen utförs i lösningsmedel var monomeren är löslig och initiators är löslig eller olöslig. Den utformade polymeren är också löslig, så att lösningen som har erhållits kan användas som sådan eller polymeren kan isoleras från lösningen antingen genom fällning eller destillation av lösningsmedlet. (sid. 108, Polymeeriteknologian perusteet)



Figur 5. Allmänna formeln för polymeriseringen av polystyren. (sid. 160, Polymeeriteknologian perusteet)

Polymeren som erhållits på detta sätt är till sin struktur ataktisk och är därför amorf. På grund av stora sidogrupper är polymermolekylerna styva och därför kan de inte i rumstemperatur röra sig i relation till varandra. Därför är plasten ett fast, hårt och relativt skört material, som mjuknar vid 80-90°C och är rätt formbar vid 140°C. Temperaturen för glasningsöverföring är mellan 83 – 105°C. Polystyren är med akrylplaster och cellulosa-acetat bland de mest klara och genomskinliga plaster. Molmassan för de kommersiella kvaliteterna brukar vara 50 000 – 200 000 g/mol. Polystyrenens egenskaper ger upphov till att materialet kan användas i elindustrin. Dess väderståndighet är inte god.

Både polystyrenens slaghårdhet och kemiska hållbarhet kan ökas när alkylsubstituerad styren läggs till vid polymeriseringen av styren. Slaghårdheten ökas genom att blanda styrenbutadiengummi, polybutadien och andra motsvarande elastiska polymerer med styrenet. Dessa polystyrenkvaliteter kallas slagfast kvaliteter. Slagfasta polystyrenens slagfasthet beror mest på att slagets energi bildar stabila mikrosprickor i matrisen. Dessa mikrosprickor bildar ortogonala fält i relation till slagenergens frigörningsriktning. Bildade sprickor möjliggör snabba förändringar i matrisen utan att det bildas genomgående sprickor i materialet. Dessa sprickor syns bäst när materialet blir opalt, då reflekteras ljuset vid ytlager. Polystyren tål vatten, saltlösningar, syror, baser, alifatiska kolväten

och lägre alkoholer, men löser sig i estrar, aromatiska kolväten och klorifierade kolväten. (sid.161, Polymeeriteknologian perusteet)

Till gruppen styrenplaster tillhör förutom egentlig polystyren sådana kopolymerer, vilka innehåller relativt mycket styren. Sådana kopolymerer är t.ex. SAN-plast och ABS-plast. Styren används också i stora mängder som råmaterial i syntetiskt gummi SBR. (sid. 160, Polymeeriteknologian perusteet)

Engångsbestick gjorda i polystyren är av HI-PS-kvalitet (High-Impact polystyren). Av HI-PS framställs t.ex. livsmedelsförpackningar, engångsbestick, radio- och TV-skål, hushållsartiklar och andra brukföremål samt smådelar till dem. (sid. 173, Neste - öljystä muoveihin)

Tabell 2. Egenskaper för polystyren (Sid. 162, Polymeeriteknologian perusteet)

	GP-PS	HI-PS
Densitet, g/cm ³	1	1
Dragstyrka, Mpa	45	50
Brott töjning, %	1	15
Böjstyvhet, Mpa	100	75
Elasticitetsmodul, Mpa	2300	2000
Hack slagseghet, kJ/mm ²	2	7
Kultryckhårdhet, N/mm ²	100	75
Mjukningstemperatur, °C	85-90	78-90
Maksimitemperatur, °C	85	75
Absorbering av vatten, %	0,1	0,6

I tabellen jämförs egenskaperna för GP-PS och HI-PS.

3.1.1 Framställning av polystyren

I följande kapitel klargörs framställningen av polystyren, från början till slutliga granulat.

Produktionsprocessen av polystyren delas i princip i fyra delar:

1. Suspensionspolymerisation i blandningsreaktorn som insatsprocess
2. Torkning (slungning och filtrering)
3. Efterbehandling

- ytbehandling av PS-E
 - smälthomogenisering och granulering av GP-PS (General-Purpose polystyren)/ HI-PS
4. Packning och lagring
- Förpackning i säck, i låda och lagring i silo av GS-PS/ HI-PS

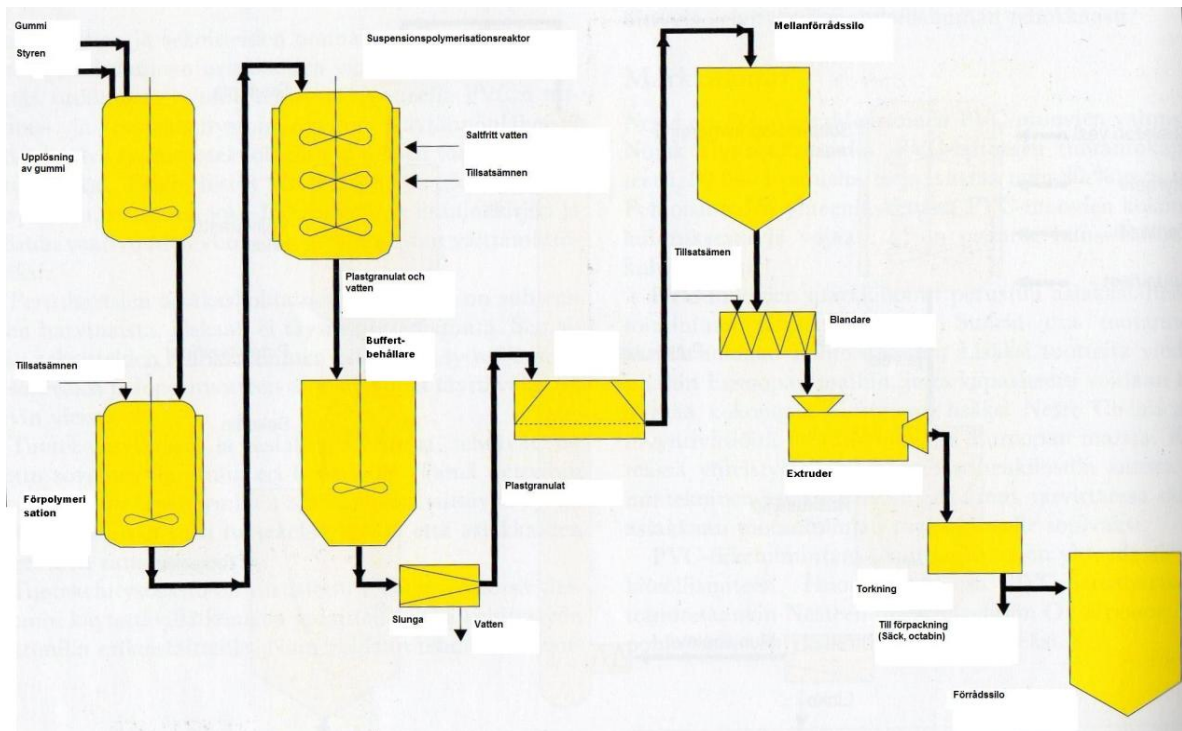
I processen matas lika mycket av huvudråämne styrenmonomer och mellansubstans rent saltlös vatten i en reaktor med blandare. Blandningen påbörjas, varefter styrenen suspenderas till finfördelade droppar. De nödvändiga kemikalierna tillsätts och temperaturen höjs, varefter polymeriseringen i styrendropparna börjar bildas.

Beroende på kvaliteten av satsen storlek varierar mängden styren mellan 10-14 ton. Polymerisering av satsen börjande från inmatning av styrenmonomer till polymeriseringens slut tar 10-16 timmar. Temperaturen varierar mellan 90-130°C.

HI-PS innehåller gummi som förstärkningsmedel, detta kopolymeriseras i förstadiet med styren via masspolymerisering före egentliga polymeriseringen. Styrens polymeriseringsreaktion bildar värme, och är alltså exotermisk. Reaktionsvärmten elimineras från reaktorerna genom en kylvattenmantel. När polymeriseringen är slutförd, kyla reaktorn och innehållet flyttas till en buffertbehållare. Från buffertsbehållaren flyttas polystyrenblandningen till en slunga, var vattnet separeras. Den pärl-lik polystyrenprodukten torkas med varm luft.

Torkade GP-PS- och HI-PS-pärlorna flyttas sedan direkt till ett mellanförråd.

GP-PS- och HI-PS-produkterna är blandningar av polystyren och tilläggsämnen. Blandningen utförs genom att kontinuerligt smälthomogenisera produkten i en extruder och granulera den. Produkten packas därefter i säckar eller lådor eller lagras i silon. (sid. 174-176 Neste – öljystä muoveihin)



Figur 6. Framställning av HI-PS. (sid. 174, Neste – öljystä muoveihin)

De olika framställningsskeden för polystyren.

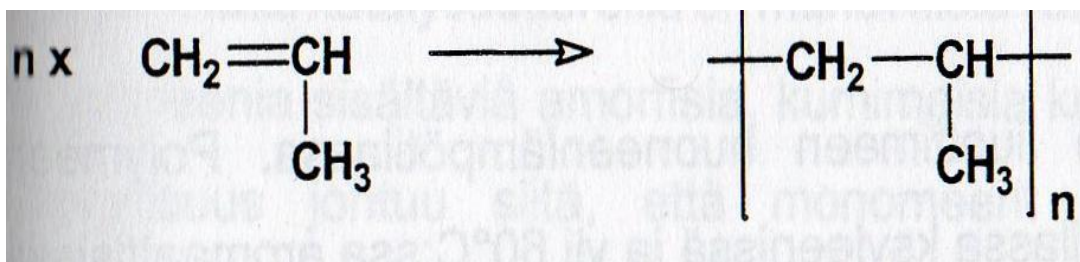
3.2 Polypropen, PP

Polypropen hör såsom polyeten till gruppen polyolefiner, som är en termoplast och lämpar sig bra till återvinning.

Polypropenens egenskaper bestäms av följande faktorer:

- Molmassan (uttrycks också som MFI (Melt flow index)) och molmassfördelning
- Komonomeren som använts (homopolymer, random- eller blockpolymer var eten används som komonomer)
- Kristallinitet/ isotakticitet
- Blandningar

Allmänna formeln för polymeriseringen av polypropen kan visas som följande:



Figur 7. Allmänna formeln för polymerisering av polypropen. (sid. 145, Polymeeriteknologian perusteet)

Polypropenens molekyllkedja är en oförgrenad linearisk kedja. Kedjans rymdstruktur beror på riktningen av propenmolekylens CH₃-grupper som är efter varandra. Formen man vill ha är en isotaktisk polypropen, i vilken alla sidogrupper är på samma sida av kedjan. Graden av isotakticitet justeras med ett katalytssystem, oftast nuförtiden 94-98%. En del ataktisk polymer bildas, i vilken sidogrupperna är positionerade hur som helst på någondera sidan av kedjan och dessutom bildas en del syndiotaktisk polymer där sidogruppen är positionerad alternerande på någondera sidan av polymerkedjan. I äldre processer såsom slurry-processen, bör den överblivna ataktiska delen tvättas bort.

Etenmolekylen som används som komonomer, polymeriseras lineart i kedjan. Slumpmässigt polymeriserad komonomer (random kopolymer) sänker smältpunkten för produkten och förbättrar sömbildning. På samma vis sänks stelningsgraden och genomskinligheten. I termopolymerer är dessa egenskaper ännu bättre. Random kopolymererna är mjuka.

Slagsegheten för blockpolymerer är bra. Med ökad slagseghet sänks dock styvheten. Blockpolymererna är opala, vilket beror på deras tvåfasuppbyggnad.

Tätheten för olika polypropenprodukter är konstant, 900-910 kg per kubikmeter. Tätheten bestäms av det fyllnadsämne som använts som blandämne.

Smältindexen och molmassfördelningen bestämmer smälthöjnings-egenskaper av produkten i bearbetning. Smältindexen uttrycker molmassans medelvärde och smältviskositeten. Propenplaster som har ett lågt smältindex, är sega. Om smältindexen växer, då sjunker segheten men styvheten ökas. Produkter med stort smältindex rinner bra och fyller komplicerade sprutformar lätt.

Molmassfördelningen av polypropen växlar inom ett ganska litet intervall (3-10). Brädden av fördelningen beror på den använda katalyten, processen och efterbehandlingen, med vilken fördelningen kan minskas.

Värmetåligheten av polypropen är bra, homopolymerens smältpunkt är ca. 162°C. I fortsatt användning håller homopolymeren 105°C och i temporär användning 120-130°C. De högsta möjliga temperaturerna beror på övriga krav och parametrar i applikationen. I andra hand är homopolymerens köldtålighet dålig och den blir skör vid en temperatur av ca. 0°C. Köldtåligheten förbättras med komonomerer, blockpolymerens seghet förvaras också i låga temperaturer.

Polypropenen har bra kemisk tålighet. De är inerta med de flesta kemikalier.

Propenplaster används inte alls utan tillsatsämnen. I polypropen skall man tillsätta ämnen som hindrar oxidation så att polymerkedjorna inte skall brista och de mekaniska egenskaperna hålls lika. Andra typiska tillsatsämnen är glidmedel (slip) och produkternas släppmedel (antiblock). Propenplaster, som plaster vanligtvis, upptar lätt statisk elektricitet, varför man tillsätter anti-statiska tillsatsämnen. För att öka propenens genomskinlighet och styvhet används kärnbildare i produkter med tunna väggar tillverkade genom formsprutning eller formblåsning.

Förpackningsindustri

Polypropen används i förpackningsindustrin pga. polypropenets goda optiska och mekaniska egenskaper. Applikationerna är sprutformade förpackningar, extruderade filmer och förpackningar framställda via djupdragning av en skiva. Sprutformade produkter är t.ex. kannor, lådor och korgar. Via djupdragning framställs yoghurtburkar, margarinförpackningar etc.

Av propenplaster framställs orienterad (töjda) och oorienterad film. De används bl.a. i livsmedels- och tekstilförpackningar. Oorienterad film framställs huvudsakligen med flödesteknik (cast-film). Vid framställningen med blåsteknik förs filmen uppifrån ner och kyla med vatten. Orienterade filmens specialapplikationer är kondensatorfilmer tack vare polypropenens elektriska genomslagningsrenhet.

Fibrer

Plastfibrer av propen används tack vare sina goda mekaniska egenskaper som filmfiber i tekniska applikationer, såsom rep, snören, säckar osv. samt som fiber i golvmattor. Propenfibrer används också i fibertyg, blöjor och textilier. Fibrerna framställs oftast av homopolymeren. (sid. 149-150, Neste – öljystä muoveihin)

Tabell 3. Polypropenens egenskaper (sid. 147, Polymeeriteknologian perusteet)

	IM-kvalitet	Extruderad
Densitet, g/ cm ³	0,9	0,9
Smältflödekoeficient, [g/10min]*	27	1,3
Smältningstemperatur, °C	164-167	160-165
Spänning vid flytgräns, Mpa	38	31
Töjning vid flytgräns, %	12	16
Draghållfasthet, Mpa	25	34
Brott töjning, %	20	700
Kultryck hårdhet (30s), Mpa	78	64
Hack slagseghet, mJ/mm ²	5	11
Längdens värmekoefficient, K ⁻¹	$1,8 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-4}$
Resistivitet, Ohm cm	$>5 \times 10^{16}$	5×10^{16}
(* = 230 °C /5.0kg)		

I tabellen jämförs egenskaperna för formsprutad (IM) och extruderad polypropen.

3.2.1 Framställning av polypropen

I följande stycke behandlas framställningen av polypropen, från början till det slutliga granulat.

Rengöring av propen

Av propenet som kommer från petrokemins fabriker, avlägsnas svavelföreningar och vattnet. Det rensade propenet blandas med återanvänt propen i propenens matningsbehållare och därifrån pumpas det till reaktorerna.

Framställning av katalyten och förpolymeriseringen

Katalysystemet består av en fast titankatalyt, flytande kokatalyt, som utgörs av trimetylaluminium (TEAL) och en donör. Var och en av dessa tre komponenter har ett skilt matningssystem. Den använda katalytens aktivitet är så stor, att inga katalytrester behöver avlägsnas från produkten. Den fasta katalyten dispergeras i en olje-/fettblandning, då bildas en katalytpasta, som med donoren och TEAL:n aktiveras, blandas i propenflödet och matas i förpolymerisationsreaktorn.

Polymerisering av propen

Den egentliga polymeriseringen sker i två stora loopreaktorer, som fungerar i serie. Flytande propen matas i två reaktorer. I processen används ingen mellansubstans. Reaktionen sker i en temperatur av 70°C och tryck på 35 bar. Reaktorerna kyls med hjälp av kylvatten som rör sig i inre manteln. Reaktorer är två pga. den driftstiden skall bli så lång som möjligt och fördröjningstidsfördelningen så smal som möjlig. Från första loopreaktorn flyttas konstant propen-polypropenslurryflödet till en annan loopreaktor.

Avlägsnande av gas och tillvaratagande av monomer

Slurryn som kommer från den andra reaktorn innehåller ca 55 vikt-% polypropen och 45 vikt-% oreagerad propen och propan. Den oreagerade lösningen förångas, varefter polymeren separeras från gasen i en högtryckskillningsbehållare. Från botten av silon leds polymeren till lågtryckskillningsbehållare.

När blockpolymerer produceras, körs polymerblandningen från högtrycksavskillningsbehållaren till gasfasreaktorn, som opereras i ca 10 bars tryck och i en temperatur på 75°C. I flödesbeddreaktorn polymeriseras gasaktig propen och eten till polymeren för att öka slagtligheten. Efter reaktorn borttas de oreagerade monomer.

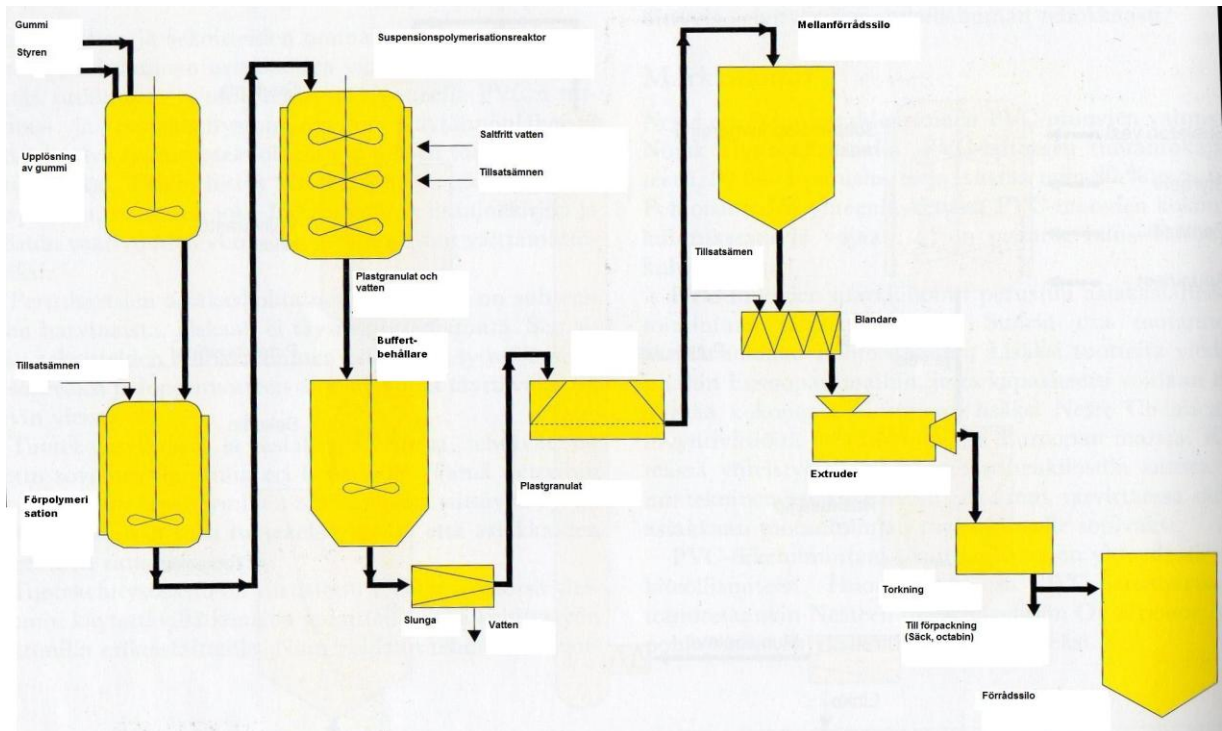
Lågtrycksavskillningsbehållaren är ett påsfilter, på vars botten samlade polymeren förs till ångbehandling. I detta skede tillförs stabiliseringsämnen. Den filtrerade gasen far till propenens lågtryckstvätt, var TEAL-resterna borttas med hjälp av en olja. Efter detta ökas trycket, och flödet kombineras med gasflödet som kommer från högtrycksavskillningsbehållaren. Det blandade flödet matas till högtrycktvättskolonnen, var fasta delar borttas med hjälp av propenlösning. Propenen som kommer från tvättarens topp omvandlas till vätska och förs tillbaka till matningsbehållaren för propen.

Torkning och ångbehandling av polymeren

Polymeren, som innehåller utlösta kolväten, flyttas från lågtrycksavskillningsbehållaren till ångbehandlingsbehållaren. I behållaren tas kolväten bort, och kvarblivande katalyten deaktiveras genom att blåsa ånga genom polymerbedden. Polymeren förs till en torkare, där vattnet som kondenserats vid ångbehandlingen förs bort i en stängd kväveatmosfär.

Matning och extrudering av tillsatsämnen

Polypropenpulvret förs från torkaren med hjälp av kväve via mellanbehållaren till extrudering. Före extrudern doseras tillsatsämnen, närmast neutraliserings- och antiförsurningsämnen. I extrudern homogeniseras polypropenpulvret och tillsatsämnen, smälts och pelleteras med hjälp av undervattensklippare. Efter klipparen förs granulatet till vattenskiljare, torkning och till slut till silon. (sid. 154-156, Neste – öljystä muoveihin)



Figur 8. Framställning av polypropen. (sid. 155 Neste – öljystä muoveihin)

De olika framställningsskeden för polypropen.

3.3 Polylaktid, PLA

Polylaktid hör till gruppen polystrar, och hör till den nya generations bioplaster som används t.ex. i USA i förpackningar. Polylaktidens mekaniska egenskaper påminner ganska mycket om polystyrenets. Polylaktid sönderfaller i motsats till av fossila material framställda plaster helt i naturen, dvs. det till koldioxid och vatten. (sid. 43, Muoviteknikan perusteet)

Historik

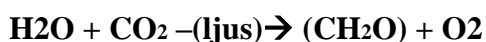
Cargill inc. startade år 1988 ett projekt för att framställa polylaktid. Målet med projektet var att komma fram med en ny produkt och dra nytta av möjligheterna att använda stärkelse som råmaterial. Dr. Pat Gruber som arbetade vid företaget, kom fram med en ”nyckelprocess” för att göra laktid från laktos, samt processer och teknologier för rensning och polymerisering av laktid.

Under 1995 behövde företaget Cargill en afferspartner med stark grund i polymerbranschen. Slutligen verkade företaget Dow best för deras behov. I November 1997 fusionerades Cargill och Dow till ett nytt företag, NatureWorks, med PLA som huvudintresse.

3.3.1 Framställning av polylaktid

Cargill Dow`s PLA kan komposteras och är gjord av 100 % återanvändbart råmaterial såsom majs, sockerbetor och ris. Figur 9 visar de olika stegen som är involverade i produktionen av PLA, börjande med odling av majs och slutande vid produktion av PLA-granulat. All fri energi som används av biologiska system upptas från solenergi som är ”fångad” av fotosyntesprocessen.

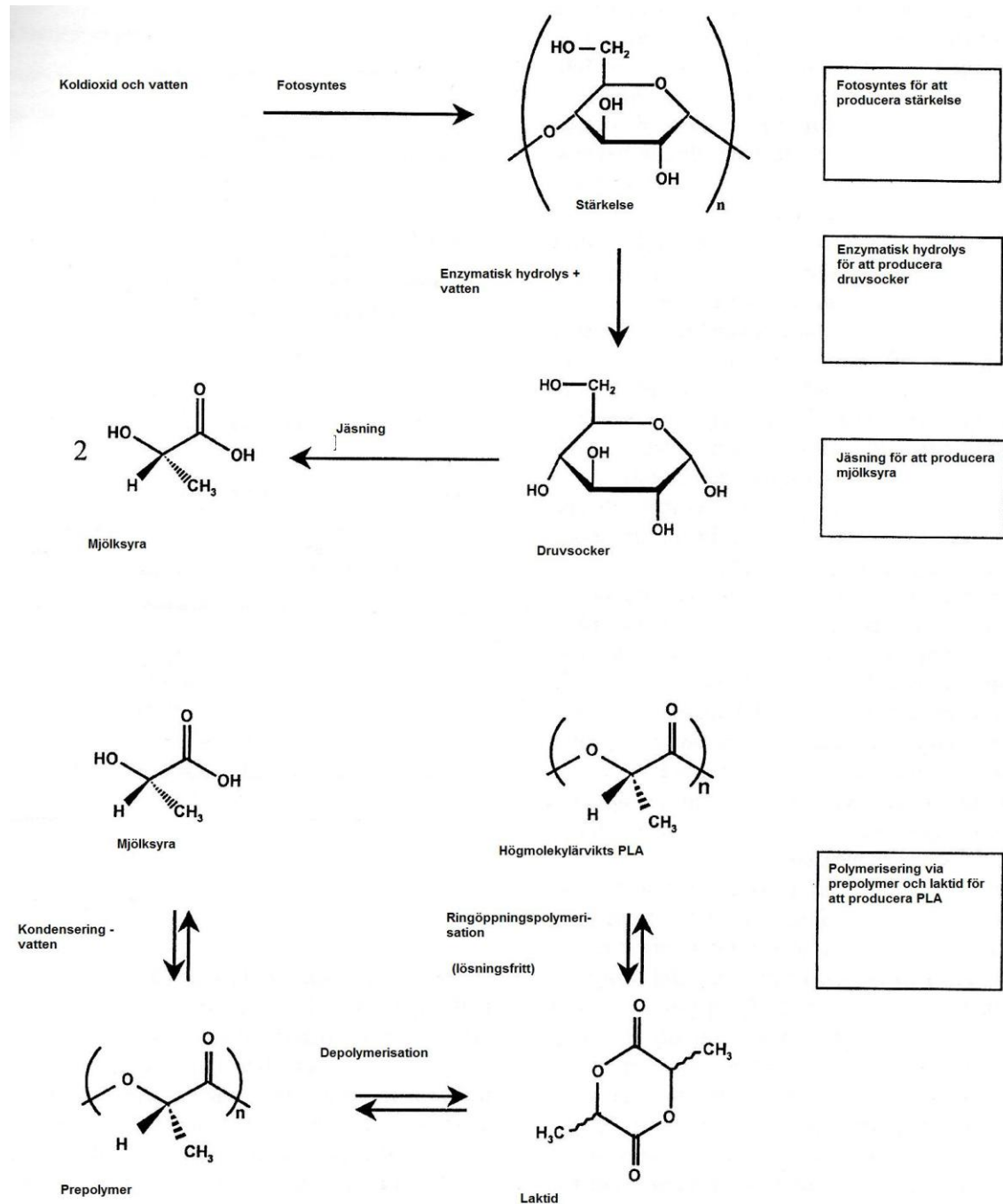
Den vanliga ekvationen för fotosyntesen är följande:



I denna ekvation representerar (CH_2O) kolhydrat, men närmast sackaros och stärkelse. All kol, väte och syre i stärkelsemolekylen i den färdiga polylaktidmolekylen härstammar från fram vatten och koldioxid. Efter skörden transporteras majsen till en vattenkvarn (wet mill), där stärkelsen separeras av majsets kärna (andra komponenter är proteiner, fetter, fibrer, aska och vatten) och stärkelsen är konverterad via enzymatisk hydrolys till dextros. Cargill Dow jäser dexteros till mjölksyra nära neutralt pH. Via försurning och diverse rengöringsmetoder rensas laktidsaltsjäsningsblandningen för att få fram mjölksyra.

Första generationens PLA produceras årligen av majs: det billigaste, stärkelserekaste och bäst tillgängliga råmaterial i USA. I andra delar av världen används lokala växter

som ris, sockerbeter, sockerrör, vete och sötpotatis som råmaterial. (s. 404, www.natureworkslc.com)



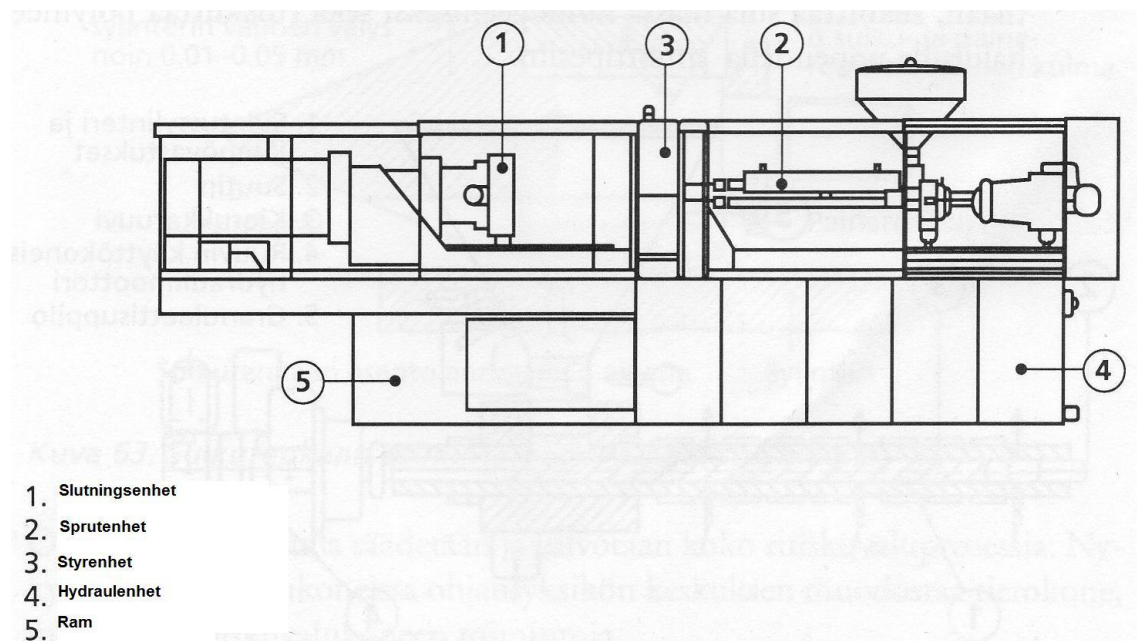
Figur 9. Framställningsskeden för PLA. (sid. 405, www.natureworkslc.com)

PLA kan inte återanvändas lika lätt som konventionella plaster, man behöver bygga skilda anläggningar för detta. PLA kan dock i motsats till konventionella plaster bli komposterat med lämplig utrustning och konstruktioner. (sid. iii-iv, Athena Institute)

3.4 Formsprutning

Den engelska benämningen för formsprutning är injection molding (IM). Formsprutning är en framställningsmetod där fullt automatiserade maskiner framställer produkter av termoplaster.

I framställningsprocessen smälts plasten till en homogen massa i smältcylindern med hjälp av inre friktionen som bildas när skruven roterar och av värmets elmotstånd bildas i cylindern. Den smälta polymeren insprutas med ett högt tryck i en passlig tempererad (kyld) form som är vanligtvis gjord av stål. I den stängda formen stelnar plasten och efter en viss kylningstid öppnas formen och produkten trycks ut ur formen. (sid. 72, Muovitekniiikan perusteet)

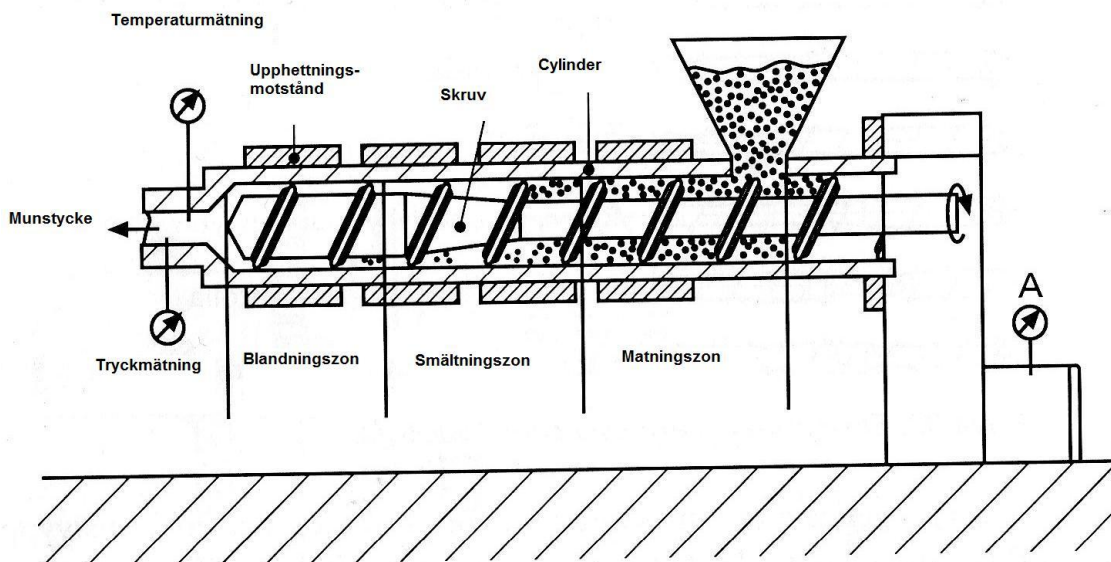


Figur 10. Huvuddelarna i en formspruta. (sid. 73, Muovitekniiikan perusteet)

3.5 Extrudering

Extrudering är när smält plast trycks ut genom ett munstycke som har en viss profil. Vanliga produkter som framställs via extrudering är film, rör, skivor, rep och legeringar på kablar, tyg, papper och kartong.

En extruder består av en cylinder, där i en speciellt utformad skruv roterar. Skruvens uppgift är att flytta plastgranulatet eller –pulver från matningstratten till munstycke och smälta det under vägen via friktion eller tillsammans med ett elmotstånd. I slutdelen av skruven utjämnas (homogeniseras) den smälta plasten. (sid. 98-99, Muovitekniiikan perusteet)



Figur 11. Huvuddelarna av en extruder. (sid. 99, Muovitekniiikan perusteet)

3.6 Fyllnadsmaterial

Vanligtvis används fyllnadsmaterial i termoplaster. Fyllnadsämnens mängd i plaster är ca 10 volymprocent. Fyllnadsämnen är inte pigment, färgämnen eller motsvarande (de kallas hjälpämnen). Användning av fyllnadsämnen har ökat märkbart bl.a. när priset på råmaterial har stigit, utvecklingen av framställningsmetoder (användning av billigare fyllnadsämnen i plasten), och pga. miljöns och samhällets krav.

Allmänna förändringar som fyllnadsmaterial orsakar i plasten:

- ökad form-, värme- och kemisk tålighet
- förbättrade mekaniska egenskaper, såsom hårdhet, tryck-, böjnings- och draghårdhet
- sänker värmeutvidgning
- minskar förbrännbarhet
- påverkan av UV-strålning förminskas
- förbättrar formbarhet hos massan och mindre krympning vid framställning

Vanliga oorganiska fyllnadsmaterial är talk, kaolin, asbest, kalciumkarbonat, bariumsulfat, titanoxid, zinkoxid, träkol och grafit. Till organiska fyllnadsmaterial hör cellulosa, sågspån, papper, lignin, korksmulor och nötskalsmulor.

Val av fyllnadsämne och dosering har stor betydelse, eftersom med olämplig mängd blir materialkvaliteten dålig och fyller därmed inte ställda normen. Ett allmänt problem med fyllnadsämnena är att de har tendens att binda syre i sig, vilket orsakar problem för den mekaniska hållbarheten (bubblor i färdig produkt). (sid. 99, Polymeeriteknologian perusteet)

3.7 Biologisk nedbrytning

Biosönderfall av material är av större betydelse nuförtiden. Många företag har bytt ut fossila råmaterial för framställning av engångsprodukter till biosönderfallande material. En del av dessa förändringar i materialanvändning är bara marknadsföringstricks, för att förbättra deras imago på marknaden, vilket anses viktigt. Man kan nuförtiden inte nonchalera nuförtiden miljövänlighet i det allt mera växande konsumtionssamhället. Ur ekonomisk synvinkel är det inte nödvändigtvis lönsamt för företag att byta ut sina material och ideologier, är vissa företag tvungna att göra det.

Biosönderfall sker när omgivningens mikro-organismer kan bryta ner materialet och använda det som föda. Biosönderfall kan ske i många ställen, såsom i jordmånen, komposter, i vattenomgivningar och tom. i människokroppen. Processen ovanför ändrar kolet till energi och uppehåller livet. Alla material är inte biosönderfallande i alla omständigheter, utan kan kräva en optimal omgivning för detta skall nedbrytningen ske.

För att plasterna skulle sönderfalla, måste de genomgå två skeden:

Först förkortas långa polymerkedjorna eller bryts ned vid kolets bindelsepunkt. Denna process kan få sin början via värme, fukt, mikrobiska enzymer eller via annan miljöpåverkan, beroende på polymeren i frågan. Detta kallas för sönderfall och man kan konstatera det när plasten har förvandlats till skör och lätt sprickande. Detta är dock inte ett tecken på biosönderfall.

Det andra skedet kommer igång, när kortare kolkedjan penetrerar mikrobers cellyta och används som energikälla och förvandlas till vatten, biomassa, koldioxid eller metan. (www.nextbag.co.in)

4 SAMMANSTÄLLNING AV ENERGIÅTGÅNG OCH EMISSIONER

I kommande kapitel genomgås energiåtgång och emissioner för de tre materialen PP, HI-PS och PLA. Som utgångspunkt används ursprungligen Athena Institutes undersökning av 10. 000 engångsmuggar gjorda i respektive tre material.

Trots att undersökningen är såsom sagt inte fullkomlig, ger den ändå vissa riktlinjer i fråga om utsläppen för respektive material.

Tabell 4. Mängd respektive [kg] material för 10. 000 muggar. (sid. 1-4, 2-1, Athena Institute)

	Materialkrav för 10.000 koppar [kg]
PLA	148
HI-PS	123
PP	105

Som mått för energiåtgång MJ per kilogram och för emissioner används massan av emission för 1 kg producerat material. Vikten av 10. 000 muggar varierar beroende av materialets densitet. Detta betyder att massan för 10. 000 muggar för respektive material skall konverteras till att motsvara 1 kg respektive producerat material.

Det gemensamma måttet för utsläpp av 1 kg producerat material valdes för att det ger klarare information än t.ex. 10. 000 framställda engångsskedar, och för att det från produktionens synvinkel är det rätt mycket enklare att se utsläppen om man jämför den årliga produktionen i kilogram.

4.1 Energiåtgång

I detta kapitel genomgås energianvändning för de tre materialen. Värdena är givna för vaggan till material (cradle-to-material) i Tabell 5. Tabell 6 spjälkar totala energiåtgången i fossila och icke fossila bränslen. Talen uttrycks i megajoule (MJ).

Tabell 5. Energiåtgång (MJ) för 10.000 drickmuggar. (sid. 2-5, Athena Institute)

Energiutgång per kategori (MJ)	PLA	HI-PS	PP
Produktion & transport av energi	2766	853	579
Till fabriken levererad energi	4571	4241	1579
Energi för transport	269	188	65
Råmateriallets energi-innehåll	3779	5818	5633
Summa	11385	11100	7856

Energiåtgångens fyra underkategorier, visade i Tabell 5, definieras som följande:

- 1) Produktion & transport visar den energi som är använd av bränsleproducerande industrier
- 2) Energikontent av transporterade bränsle
- 3) Transport för övriga i produktion nödvändiga varor såsom maskiner etc.
- 4) Energi som åtgår för framställning av råmaterial

(sid. 2-6, Athena Institute)

Tabell 6. Värdena för energiåtgång spjälkta per bränsletyp (MJ). (sid. 2-7, Athena Institute)

Energi per bränsletyp (MJ)	PLA	HI-PS	PP
Fossila bränslen	6903	10686	7511
Icke-fossila bränslen	4482	414	345
Summa	11385	11000	7856

Tabell 5 visar värdena för de fyra kategoriernas totala energiåtgång, av fossila och icke fossila bränsletyper, från vaggan till produktion. De fossila bränslena innehåller naturgas, petroleum och kol. Naturgas och petroleum används också för produktion av petroleumbaserade plaster. Petroleum är den största energikällan för transport. Icke fossila källor, såsom vattenkraft, kärnkraft, biomassa, vind som finns visade i Tabell 6, används

för att alstra elektricitet vid sidan av fossila bränslen. Majs som råmaterial är inkluderad som biomassa och därmed tillhör icke fossila bränslen. (sid. 2-6, Athena Institute) PLA har stor antal icke-fossila bränslen i sig, för att den härstammar från majs.

Tabell 7. Konverterade värden för 1 kg material. (MJ)

	Konvertering	Energiåtgång för 1 kg material
PLA	11385 / 148	77
HI-PS	11100 / 123	90
PP	7856 / 105	75

4.2 Emissioner

Tabellerna grupperas i emissioner i a) atmosfären, b) vattnet och c) uppkomna växthusgaser.

Resultaten som fått är inte lätta att tolka, man vet inte ännu noggrant vad vissa utsläpp orsakar för människor och djur. (sid. 2-8, 2-9, Athena Institute) Talen uttrycks i gram (g) per framställd kilo respektive material.

4.2.1 Emissioner i atmosfären

De presenterade resultaten är för emissioner som har passerat filtreringssystem. De vanligaste emissionerna är bla. koldioxid, kolmonoxid och diverse partiklar av olika storlek.

Tabell 8. Utsläppen i atmosfären [gram] / 10. 000 koppar. (sid. 2-10 ,2-11, Athena Institute)

Utsläpp i atmosfären	PLA	HI-PS	PP
Dammpartiklar (PM10)	1504	177	109
Kolmonoxid	1431	874	867
Koldioxid	407570	470516	290306
SO ₂	2547	1965	1242
H ₂ S	0,3	0,25	0,21
NO ₂	2868	1217	847
NH ₃	0,95	0,21	0,22
Cl ₂	0,024	0,13	0,11
HCl	64,9	13,3	9,82
Kolväten	495	595	544
Organiska ämnen	12,2	25,8	6,68
N ₂ O	56,3	0,54	0,62
H ₂	25,8	11,7	6,23
Syre	0	0,13	0,11
Asbest	0	0,13	0,11
Toluen	0,18	0,53	0,15
Styren	0	10,8	0,11
Propylen	0,028	0,78	0,13
Majsdamm	11,3	0	0
Damm (PM 2.5)	2,25	0	0
Damm (ospecificerat)	21,2	1,34	1,72
Etanol	68,7	0	0
Mjölksyra	0,13	0	0
Summa	416679,262	475409,64	293941,22

PLA och HI-PS är ganska lik varandra, PP har minsta värdet.

Tabell 9. Konverterade värden för 1 kg material.

	Konvertering	Utsläpp för 1 kg material [g]
PLA	416 679 / 148	2815
HI-PS	475 410 / 123	3865
PP	293 941 / 105	2799

4.2.2 Emissioner i vatten

De presenterade resultaten är för emissioner som har passerat filtreringssystem.

De vanligaste emissionerna är bla. syror, ammoniak, BOD (biologisk syreförbrukning), COD (kemisk syreförbrukning) och järn i föreningar.

Tabell 10. Utsläppen i vatten [gram] / 10. 000 koppar. (sid. 2-14, 2-15, Athena Institute)

Utsläpp i vatten	PLA	HI-PS	PP
COD	934	87,3	54,7
BOD	164	7,7	3,6
Fe	8,7	2,9	3,6
Na	533	195	221
NO ₃	182	0,9	13
Cl-	1732	633	768
Partiklar i suspensionsform	630	115	91,4
Detergenter/olja	1,6	3,8	2,4
Lösta partiklar	1860	776	948
N	13,8	1,2	0,8
SO ₄ --	31,4	54,1	105
Ca+	150	53,3	66,2
Mg+	25,8	10,2	13
Cr+	0	0,2	0,2
TOC	237	4,8	1
Al+	3,3	1,5	1,9
Ba+	45	18,9	24,3
Ca++	37,4	0	0
Summa	6589	1966	2318

För att majs (grunden för PLA) framställs via jordbruk, orsakar den stora utsläpp i vattensystem.

Tabell 11. Konverterade värden för 1 kg material.

	Konvertering	Utsläpp för 1 kg material [g]
PLA	6589 / 148	45
HI-PS	1966 / 123	16
PP	2318 / 105	22

4.2.3 Växthusgaser

De presenterade resultaten är för emissioner som har passerat filtreringssystem.

Växthusgaserna hör inte till en LCIA (life cycle impact assessment). Men denna punkt har ändå sin plats pga. påverkan i globala värmningen.

I tabellen visas utsläppen av ämnen som kategoriseras som växthusgaser. Växthusgaserna kommer till största delen från systemets fossila energi. (sid. 2-9, Athena Institute)

Tabell 12. Växthusutsläppen för [gram] / 10.000 koppar. (sid. 2-5, Athena Institute)

Utsläpp av växthusgaser	PLA	HI-PS	PP
Koldioxid	407570	470516	290306
N ₂ O	16665	161	184
CFC/HCFC/HFC	0	213	4188
CH ₄	85303	104909	50333
CH ₂ Cl ₂	0	1	1
HCFC-22 CHClF ₂	246	418	175
Summa	509784	576218	345187

I bilden syns, att polypropen tydligt orsakar minst emissioner. De stora N₂O-utsläppen för PLA kommer från gödsel.

Tabell 13. Konverterade värden för 1 kg material.

	Konvertering	Utsläpp för 1 kg material [g]
PLA	509 784 / 148	3444
HI-PS	576 218 / 123	4684
PP	345187 / 105	3287

5 RESULTAT

Nedan visas resultaten för energiåtgång och emissioner för ett kilo av respektive framställt material (granulat), PLA, HI-PS och PP.

Noteras kan, att värdena för PLA och HI-PS ligger nära varandra, men eftersom densiteten för PLA är 20 % större än för HI-PS, blir också miljöbelastningen större för produkter tillverkade i PLA.

Energiåtgång (MJ/ kg)

	Konvertering	Energiutgång för 1 kg material
PLA	11385 / 148	77
HI-PS	11100 / 123	90
PP	7856 / 105	75

Emissioner till atmosfären

	Konvertering	Utsläpp för 1 kg material [g]
PLA	416 679 / 148	2815
HI-PS	475 410 / 123	3865
PP	293 941 / 105	2799

Emissioner till vatten

	Konvertering	Utsläpp för 1 kg material [g]
PLA	6589 / 148	45
HI-PS	1966 / 123	16
PP	2318 / 105	22

Växthusutsläppen

	Konvertering	Utsläpp för 1 kg material [g]
PLA	509 784 / 148	3444
HI-PS	576 218 / 123	4684
PP	345187 / 105	3287

6 SLUTSATSER

I arbetet har det framkommit att

- Eftersom PLA är över 40 % tyngre än PP, kräver framställningen av samma antal produkter större energiåtgång och därmed även större emissioner.
- Emissionerna indelades i två kategorier: emissioner till atmosfären och emissioner till vatten. De bildade emissioner har uppkommit trots reningsanläggningar i produktionen.
- Enligt resultaten i arbetet belastar PLA naturen mera än PP.

7 DISKUSSION

Trots att PLA kräver mer energi och förorsakar större emissioner, är ändå iden med att framställa en helt naturlig och komposterbar polymer god. För att få fram ersättare för oljan som råmaterial, krävs ett tänkande i dessa banor.

Den moraliska frågan gällande PLA kunde ställas: är det rätt att använda jord, som kunde användas som föda för den allt växande populationen, för att framställa ett material för engångsbruk.

KÄLLOR

Internet:

http://www.athenasmi.ca/projects/docs/Plastic_Products_LCA_Technical_Rpt.pdf

(Hämtad: 20.3.2010)

http://www.natureworksllc.com/the-ingeo-journey/eco-profile-and-lca/~media/Our%20Values%20and%20Views/EcoProfile_LCA/EcoProfile/NTR_CompleteLCA_EcoProfile_1102_pdf.ashx

(Hämtad: 06.10.2010)

www.akvila.fi

<http://e150.obiki.org/content/resourcesharing2006/finkbeineretaliso1404014044article.attachment/attachment/IntStdLCA.pdf>

(Hämtad: 8.12.2010)

http://www.nextbag.co.in/general_information.html

(Hämtad: 20.3.2010)

Böcker:

1. Callister William D. Jr., Materials Science and engineering: an introduction, 7th ed., 2007 ISBN-13: 978-0-471-73696-7
2. Ojala Aito, Energiatalouden ja voimalaitosopin perusteet, 4. painos, 1978 ISBN 951-671-089-1
3. Haapalinna H., Kytökari A., Manninen H., Neste – öljystä muoveihin, 1992 ISBN 952-9553-06-4

4. Kurri V., Malein T., Sandell R., Virtanen M., Muovitekniikan perusteet, 2002 ISBN 952-13-1584-9
5. Seppälä J., Polymeeritekniikan perusteet, 2001 ISBN 951-672-315-2
6. Graedel E. Thomas, Streamlined Life-Cycle assessment, 1998 ISBN 0-13-607425-1